

中東におけるPC斜版橋の施工 —ジョルダン キングフセイン橋—

松澤 勝文*1・本田 英尚*2・立澤 弘道*3・細野 宏巳*4

1. はじめに

ジョルダン（ヨルダン）ハシェミット王国は、中東アラブ諸国の西側、アラビア半島の北西の付け根に位置し、イスラエル（一部ウエストバンク）とはジョルダン川を挟んで対面している。面積 9 万 km²、人口 500 万人と、北海道と同程度である。1990 年のイラクのクウェート侵攻により深刻な経済的損失を被り、日本からは数回にわたり援助を受けている。また、皇室王室間の伝統的友好関係を含め、極めて良好な関係を維持しており、日本人は数年前から入国に際してのビザを免除されている。

首都アンマンは、ジョルダン全人口の約 4 割（200 万人）が集中した大都市である。標高 900 m に位置しているため、夏季には近隣のアラブ諸国からの避暑地となっている。アンマンとイスラエルの首都エルサレムを繋ぐ道路は、国境であるジョルダン川には、第三次中東戦争（1967 年）で破壊された旧橋の仮設橋（両側 1 車線のトラス橋で橋長 30 m）が架けられている。1994 年にイスラエルとの平和条約が締結（アラブ諸国では、エジプトとジョルダンの 2 国のみ、平和条約を結んでいる）され、今後両国間で経済・観光等の分野で活動が開始し、交通インフラの整備がより一層必要とされることにより、日本からの無償援助

として本橋の建設が計画された。

本稿では、本橋の上部工の施工について技術的特徴を述べるとともに、日本には比較的馴染みの薄い、イスラム圏であるジョルダンでの工事の特殊性についても報告する。

2. 工事概要

本工事は、ジョルダンの首都アンマンから西 40 km の South Shuna 地区からジョルダンとイスラエル（ウエストバンク）の国境であるジョルダン川に繋がる約 8.4 km の道路工事とそこに架かるキングフセイン橋（写真 - 1）の建設工事である。本橋の橋梁位置図を図 - 1、工事概要を表 - 1、構造一般図を図 - 2、施工順序を図 - 3、工事工程を図 - 4、主要工事数量を表 - 2 に示す。

3. 主桁の施工

3.1 施工概要

主桁の支保工は、基本的には地上からの枠組支保工とした。ただし、ジョルダン川横断部については、H 鋼杭を打ち込み基礎部を建設し、その上に枠組支保工を組み立てた。

コンクリートの打設は、A1 橋台側から A2 橋台側へと施工を行った。ただし、クリティカルとなる P2 柱頭部の施工は、一部先行して行った。打設割りは、断面方向には下ス



写真 - 1 完成したキングフセイン橋

*1 Katsufumi MATSUZAWA：日本工営(株) コンサルタント国際事業本部 キングフセイン橋 PM

*2 Hidenao HONDA：住友建設(株) 国際事業部 キングフセイン橋建設工事所長

*3 Hiromichi TATSUZAWA：住友建設(株) 国際事業部 キングフセイン橋建設工事副所長

*4 Hiromi HOSONO：住友建設(株) 土木本部 PC設計部課長代理

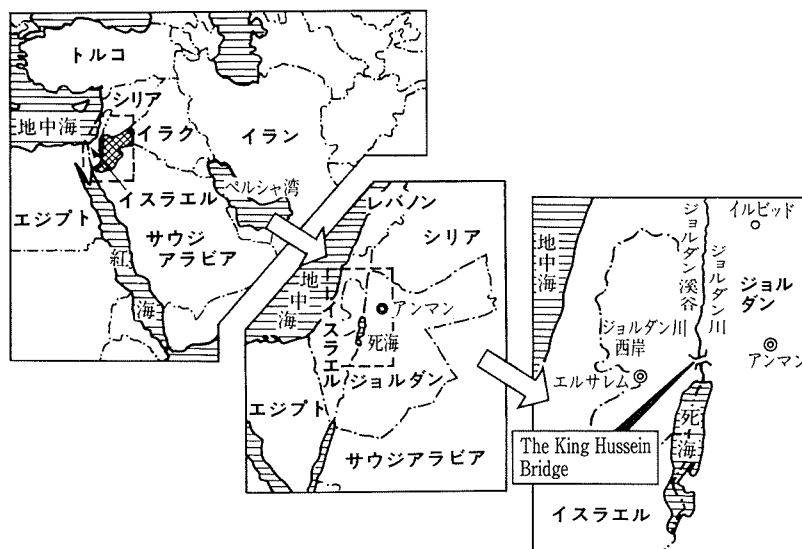


図-1 橋梁位置図

表-1 工事概要

工事名	The Project for Construction of the King Hussein Bridge	主桁	PC構造, 桁高 柱頭部 2.0 m その他 1.5 m
企業者	Government of the Hashemite Kingdom of Jordan Ministry of Public Works and Housing	主塔	独立 2 本柱 RC構造 主塔高 5.4 m
基金ソース	政府開発援助 (ODA) 無償資金協力	斜材	PC部材 (斜版) 2 面吊り
事業促進機関	国際協力事業団 (JICA)	道路工事	
コンサルタント	日本工営(株)	1 アクセス部	
工事場所	ヨルダン王国南シュナ地区	道路延長	7 640 m (South Shuna Intersection ~ アプローチ道路)
工期	2000年 4月5日 ~ 2001年 3月31日	道路幅	7.2 m + 0.3
橋梁工事		2 アプローチ部	
橋梁形式	3 径間連続エクストラードスドPC橋 (PC斜版橋)	道路延長	758 m (ヨルダン側) 20 m (西岸側)
橋長	120.0 m (34 m + 52 m + 34 m)	道路幅	(7.2 m + 0.3 m) × 2
橋幅員	18.9 m (車道 7.4 m × 2, 歩道 1.5 m × 2)	3 舗装構成	アスファルト表層舗装 (Asphalt W.C. RC-250) 5 cm
勾配	縦断 最大 2.321%, 横断 2.0%		アスファルト基層舗装 (Asphalt B.C. MC-70) 7 cm
平面	∞	4 その他	上層路盤 (Base Course) 25 cm
基礎形式	場所打ち杭 径 1.5 m 計 50 本 (橋台 30 本, 橋脚 20 本)		下層路盤 (Subbase Course) 25 cm
			法面工 Dry Riprap
			ガードレール L = 1 400 m
			街路灯 222 基

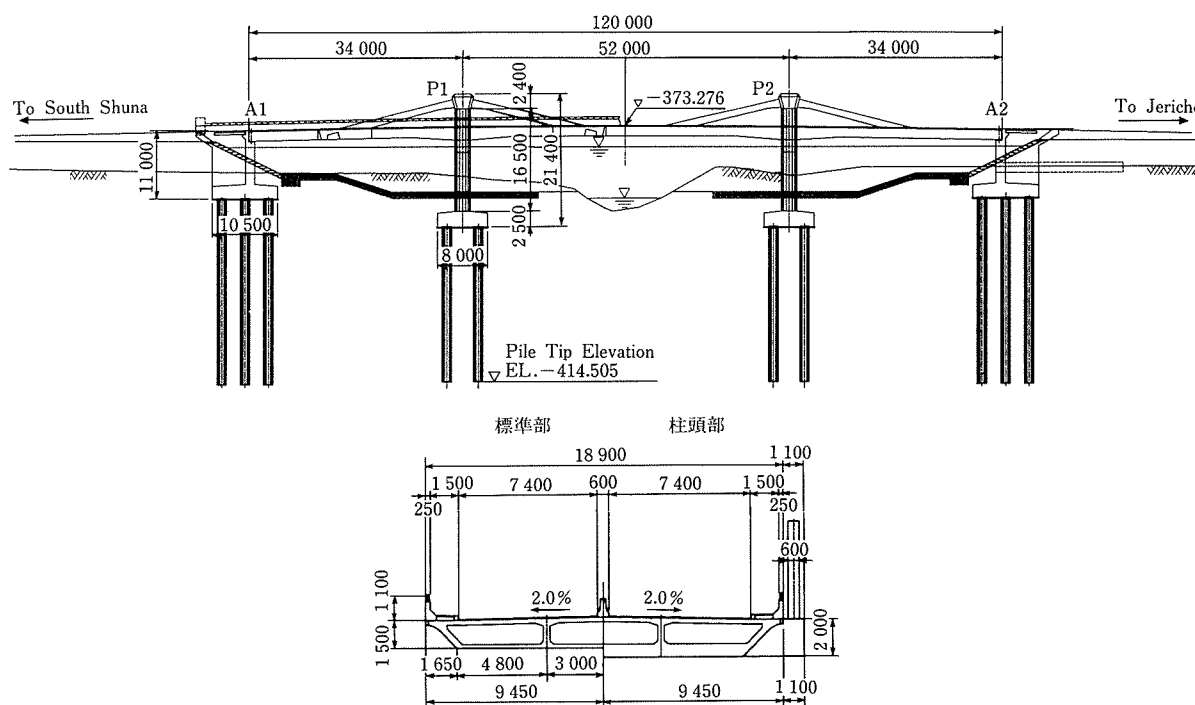


図-2 構造一般図

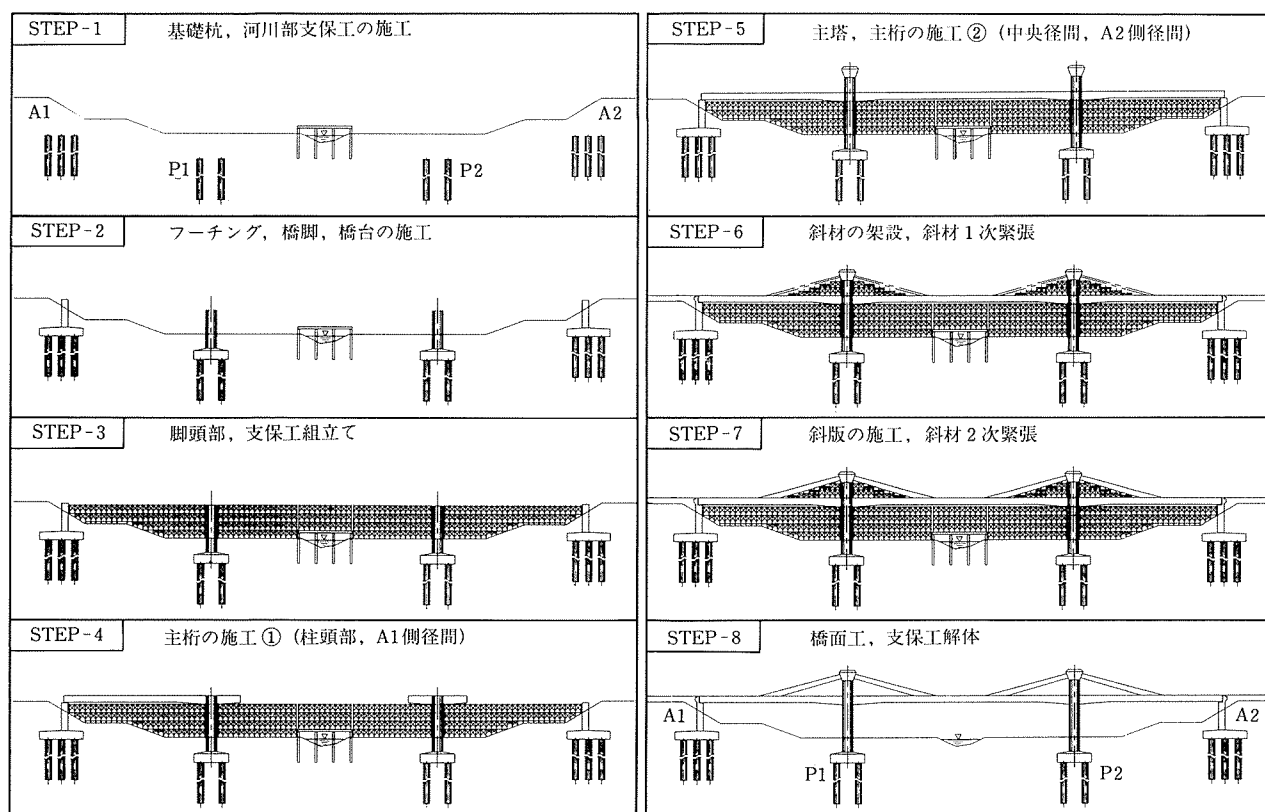


図-3 施工順序図

	2000年						2001年		
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
下部工	■	■	■	■				■	■
主 桁				■	■	■	■	■	■
主 塔							■	■	■
斜 版							■	■	■
橋面工								■	■

図-4 工事工程

表-2 主要工事数量

区分	種 別	仕 様	単 位	数 量
主桁	コンクリート	Class P 35 N/mm ²	m ³	1 909
	PC鋼材 主鋼材	Grade 270 12 S 15	t	43
	床版横締め	Grade 270 4 S 15	t	13
	横桁横締め	Grade 270 4 S 15	t	7
	鋼 棒	SBPR 930/1 180 : 32 mm	t	1
主塔	鉄 筋	Grade 40	t	293
	コンクリート	Class P 35 N/mm ²	m ³	96
	鉄 筋	Grade 40	t	20
斜材	コンクリート	Class P 35 N/mm ²	m ³	89
	PC鋼材	Grade 270 27 S 15	t	10
	鉄 筋	Grade 270 4 S 15	t	2
	鉄 筋	Grade 40	t	54

ラブ・ウェブ・上スラブの3回打ちとし，橋軸方向には下スラブは3回，ウェブ・上スラブは5回に分けて打設を行った。なお，支間中央部とP2柱頭部の継目には，コンクリー

トの温度収縮によるひび割れ防止のため，50 cmの接合部を設けた。この部分は，支間中央部の上スラブ（図-5 ⑬部分）のコンクリート打設と同時に打設した。主桁コンクリート打設割りおよび打設順序を図-5に示す。

また，ジョルダンとウエストバンク両側の資機材の運搬用に仮橋を設けた。仮橋は，主桁河川上支保工と同様に，H鋼杭と鋼桁を組み合わせた構造とした。

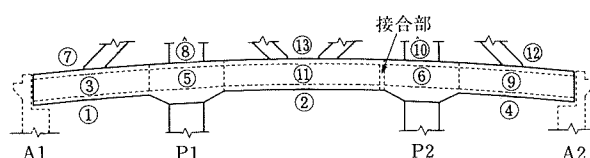


図-5 主桁コンクリート打設割りおよび打設順序

3.2 支 保 工

主桁支保工は，主桁コンクリート打設後に全橋にわたって配置されたPC鋼材を一括緊張で行う方法のため，全橋分準備し組み立てた。当地では，支保工材として枠組支保工がよく使用されている。脚1本あたりの支持荷重は5tと日本のビティ枠の2倍で，ドイツ製のものが多いようである。写真-2に主桁支保工状況を示す。

3.3 床版横締め

床版横締め鋼材には，日本では馴染みの薄い4 S 15システムを採用した。これは，4本のストランドが扁平なシースを通り，緊張側は長方形のフラットアンカー，固定側は玉葱形のデッドアンカーが配置される。デッドアンカーは，専用の特殊機械を用い現場で簡単に製作でき



写真-2 主桁支保工状況

るため、労働賃金が安い海外では有利となる。ストランドの緊張は、軽量のシングルスートランド用ジャッキで1本ずつ行えるため、ジャッキの吊り治具装置も不要で取扱いが簡単である。

4. 主塔の施工

4.1 施工概要

主塔のコンクリート打設は、塔高5.4mと低いが塔頂部の形状が複雑であること、塔頂部にサドル本体が設置されるため2回打ちとした。サドル本体の据付けは、主塔1回目のコンクリート(3m高)打設後、あらかじめ埋め込んでおいた鉄筋を利用して行った。写真-3に主塔施工状況を示す。



写真-3 主塔施工状況

4.2 サドル構造

PC斜版橋の斜材は、コンクリートで巻き立てられるため、活荷重による斜材の応力振幅も小さく、斜材の損傷も受けにくい。そのため斜材の取替えは不要となる。このためサドル本体は一重管のシンプルな構造とし、現地の工場で製作した。

斜材の緊張はシングルスートランドジャッキで1本ずつ行う方法を採用したため、挿入したストランドが平行となるように、サドル出口部には特殊スペーサーを設置した。また、斜材緊張時にスペーサーが移動しないように、スペーサー上下のサドル管の出口および鞘管の上部には、ストッパーを設置した。さらに、サドル管の周囲には、サドル近傍の局部引張応力に対してスパイラル筋を配置した。図-6にサドル構造図を示す。

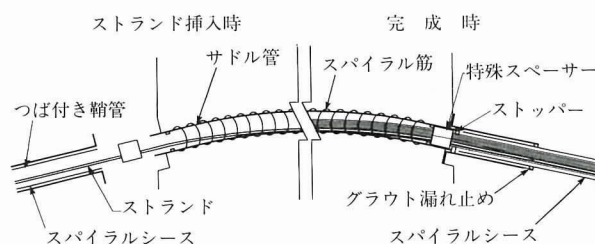


図-6 サドル構造図

5. 斜版の施工

5.1 施工概要

斜版支保工は地上より組み立て、主桁とは独立した構造とした。斜版の傾斜角は14度と緩いので、底枠の受け梁は特別の細工は必要なく、コンクリート打設時の上型枠も不要であった。また、斜版と主塔の接合部は、活荷重によって大きな引張力が生じ弱点となりやすいので、入念に締固めを行った。斜材の緊張は、斜版コンクリート打設前および打設後の2回に分けて行った。

5.2 斜材構成

斜版に配置されるPC鋼材は片側あたり、直線配置された27S15が2本とカタナリ配置された4S15が2本からなっている。斜材の緊張は、斜版コンクリート打設前の1次緊張(主桁の応力度改善用として全体の70%の張力導入)、打設後の2次緊張(斜版応力度改善用として残りの30%の張力導入)に分割して行った。

本橋では斜材の緊張をシングルスートランドジャッキで1本ずつ行うことにしたので、1次緊張では、下段の斜材(ST2)全数の27ストランドと上段の斜材(ST1)の14ストランド、2次緊張では、上段の残り13ストランドと4S15の斜材(ST3, ST4)2本の緊張を行った。図-7に斜材配置図、図-8に斜材緊張順序図を示す。

5.3 斜材の施工

斜版の支保工を地上より組み立て、斜版の底型枠設置後、斜材の施工を開始した。従来、サドルで支持された斜材の緊張は、ストランド挿入時の絡みなどにより緊張時にストランドの十分な伸びが確保されないことが懸念されるため、大型ジャッキを用いて行われていた。本橋の場合、桁下空間の狭い斜材定着体への数回にわたる大型ジャッキの移動と据付けが困難であること、また、PC斜版橋の緊張期間はごく短期間であるにもかかわらず、海外工事のため輸送期間が長くなり、ジャッキ損料が割高となるという問題があった。この問題を解決するために、本橋では斜材の緊張をシングルスートランドジャッキで1本ずつ行うことにした。懸案であったストランド挿入時のよれをなくすために、以下の対策を実行した。

- ① サドルの出口に、特殊スペーサーをセットし、相互の定着体間のストランドを平行に保った。
- ② 各定着体でストランドが同じ位置に配置されるよう、挿入順序・緊張順序を定着体の下から順次行った。
- ③ 斜材保護管の保持間隔を1.0mとし、保護管の直線形

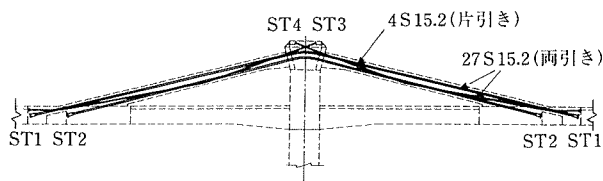


図-7 斜材配置図

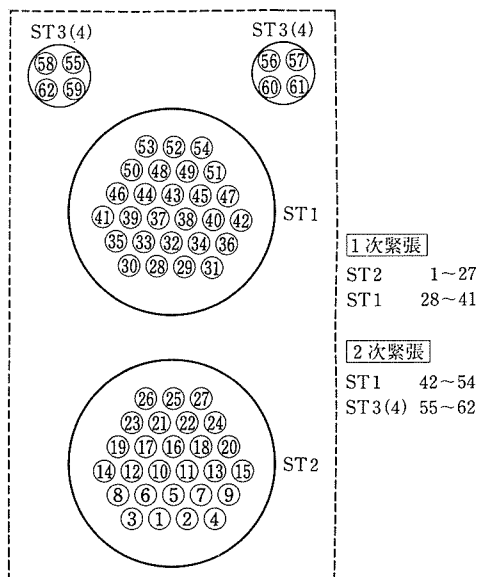


図-8 斜材緊張順序図

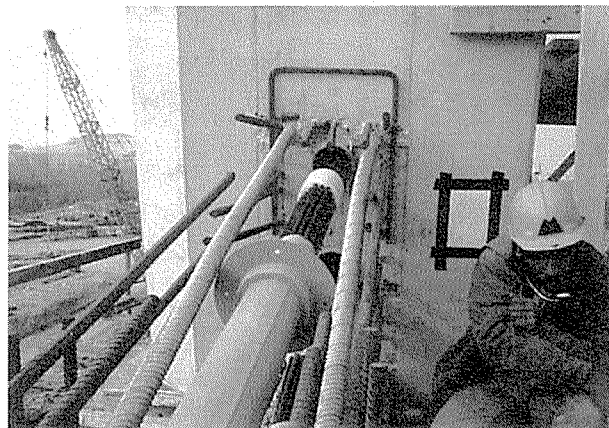


写真-4 ストランド挿入状況



写真-5 シングルストランドジャッキによる緊張状況

状が保持されるように配置した。

なお、ストランドの挿入は、斜材の全長が短く手動で可能であった。写真-4にストランド挿入状況、写真-5にシングルストランドジャッキによる緊張状況を示す。

5.4 緊張管理

上記対策の結果、スパーサーによる位置確保の効果により、ストランドの回り込み、また挿入順序の違いはなく、ストランドはほぼ平行に挿入されていた。

緊張管理は、基本的には圧力管理で行ったが、確認のためにストランドの伸び量も測定した。各ストランドの伸び量は、いくらかのばらつきはあるが、おおむね規定の伸び量が確保できた。当初、ストランドの回り込みなどにより20本目以降のストランド緊張時の伸び量不足を懸念したが、傾向的には、最初の10本までのストランドの伸び量が若干少ない程度で収まった。これは、上部に配置されたストランド重量の摩擦による影響と思われる。また、斜材緊張後に行った確認緊張でも規定の圧力を確保できていた。

5.5 シングルストランドジャッキによる緊張の利点

シングルストランドジャッキによる緊張の利点を以下に示す。

- ① ジャッキが軽量（シングルストランドジャッキ25kg、大型ジャッキ800kg）であるから、移動据付けが容易となる。本橋では、シングルストランドジャッキ2組（4台）を使用し、移動させながら（1次緊張では7回、2次

緊張では2回の移動）緊張を行った。また、初期材齢の斜版コンクリートへのひび割れ防止用プレストレスの導入も、4本のストランドを緊張すること（0.5 N/mm²のプレストレス力の導入）により容易に行えた。

- ② 上記作業を人力で行えるため、クレーン等の補助機械が不要である。
- ③ ジャッキ損料が安い。
- ④ 横締め鋼材を変更することによって、緊張ジャッキを斜材と横締めとで併用することができた。

6. 中東ジョルダンでの橋梁施工

6.1 イスラム圏での工事

イスラム圏で工事を行う場合、工事工程に必ず考慮しておかなくてはならないものにラマダン（断食月）がある。この時期（約1ヵ月）の教徒は、昼間（日の出から日没まで）食べ物だけでなく水1滴さえも飲まない。ジョルダンでは、通常1日8時間の労働時間がこの期間は連続7時間となり、午後2時にはほとんど終了となる。本プロジェクトでも、作業時間を6時30分より13時30分としたが、通常の労働時間が残業を含めて10時間以上であるので、作業効率は通常と比べて半減した。

また、金曜日は休日となっているが、この日は正午前に重要なお祈りがあること、休日出勤した場合の賃金が平日の250%となることにより、休日出勤はほとんど期待できない。なお、ジョルダンでは、90%以上の人がイスラム教徒である。

6.2 国境地帯での施工

架橋地は、ヨルダン・イスラエル両国のイミグレーションの中にあり、現場内はフェンスで仕切られ、両国の軍隊がフェンス内を常時監視していた。現場には国境を通過する人以外だれも近づけないため、以前に東南アジアで工事をしたときに注意した工事中の盗難については、心配はなかった。ただし、現場への入場には日本人を含めた全員の許可書が必要であり、イスラエル側の入場にはさらに特別の許可書が必要であった。このため、ヨルダン・イスラエル両国の軍隊と綿密な打合せを行い、工事施工に支障を来さないように努めた。

6.3 猛暑との戦い

昨年（2000年）は、日本でもそうであったが、ここヨルダンでも50年振りの猛暑で、アンマン市内でも冷房の使いすぎで電気容量がパンクし、市内中が停電になる事態が3度ほどあった。現場は、ヨルダン渓谷の最深部で標高マイナス385 mの地点にあり、夏場は50℃以上の気温となった。日中は鉄筋を素手で触ると火傷するほどになり、まともに作業する状況ではなかったため、作業時間を午前中および夜間作業にシフトした。

6.4 エクストラロード橋の施工

ヨルダンでは河川が少ないため、橋梁といえばアンマン市内に架けられているフライオーバー（支間 30 m程度の

合成桁橋）くらいである。このため、箱桁形状（しかも3室構造）のPC橋の施工経験がなく、施工を指導するのに非常に苦労した。とくに本橋は、主桁の底型枠の組立て開始から最終コンクリート打設まで3ヵ月足らずという短い工期のため、ようやく作業に慣れたのは最後の半月ほどであった。工期の長い長大橋の場合、工事後半から前半の遅れを取り戻すことが可能であるが、本橋の場合においては工事開始時の綿密な施工計画が重要であった。

7. おわりに

2000年6月から杭の施工を開始し、工事途中に対岸のウエストバンクでは、イスラエルとパレスチナの抗争が始まり、銃撃の音が聞こえる日もあった。現場内は幸い騒動に巻き込まれることもなく工事は順調に進み、2001年3月初めには舗装工事を終わらせることができた。橋梁の開通は、5月20日に行われたが、開通式については今のところ和平の終結後行う予定となっている。本橋が、ヨルダン、イスラエル両国の発展だけでなく、中東和平のシンボルとして寄与できれば幸いである。

最後に、本プロジェクトの施工にあたり、ヨルダン王国公共事業省副大臣Mr. Abdel Majid Kabariti、道路局長Mr. Sami Halaseh および関係各位に感謝の意を表する次第である。

【2001年7月10日受付】